

Review en definitie van Smart Energy hubs

Auteurs: Richard van Leeuwen, Annemarije Kooijman, Yashar Hajimolana¹, Milos Bunda²

Versie: 0.5

Datum: 9 april 2025

Inleiding

Naar aanleiding van het klimaatakkoord van Parijs en het Nationale klimaatakkoord in Nederland, gaan Nederlandse regio's en steden aan de slag met ambitieuze agenda's voor 2030 en 2050 richting CO₂-vrije energiesystemen. Belangrijke transitiepaden zijn: groei van duurzame energieopwekking en verminderen van het gebruik van fossiele brandstoffen. Elektrificatie van de behoefte aan warmte en mobiliteit en opslag van energie zijn uitvoeringsvormen daarvan. Een knelpunt dat hiermee samenhangt is dat lokale elektriciteitsnetwerken niet zijn voorbereid op hogere belastingen, veroorzaakt door overtollige opwekking en hogere elektriciteitsvraag. Netcongestie, met name in midden- en laagspanningsnetten, komt nu bijna overal voor in Nederland en blokkeert verdere stappen in de energietransitie. Binnen de Nederlandse context wordt de naam Smart Energy Hubs gegeven aan een reeks oplossingen die als doel hebben om (a) een volledige, lokale transitie van het gebruik van fossiele brandstoffen naar duurzame energiebronnen mogelijk te maken en (b) daarbij netcongestie zoveel mogelijk te voorkomen. Maar wat is een Smart Energy Hub nu precies? Het doel van deze publicatie is om (a) een overzicht te bieden van de internationale context van het onderwerp, (b) een bruikbare definitie van Energy Hubs te bieden en deze te plaatsen binnen de context van internationale ontwikkelingen, (c) een diepgaander inzicht te bieden van oplossingen vanuit de Nederlandse context die ook in andere landen kunnen worden toegepast. We presenteren een overzicht van de toepassingen en gaan in op de complexiteit van Energy Hubs. We sluiten af met een "bruikbare definitie" van Energy Hubs. Hiervoor gebruiken we inzichten uit de literatuur en projectervaringen.

Inzichten vanuit de literatuur over Energy Hubs

Binnen het wetenschappelijk domein zijn er nogal wat verwante concepten, b.v. "smart grids", "microgrids" en "virtual power plant" (VPP) die we ook in de praktijk tegenkomen. De concepten binnen smart grids (slimme sturing, sturing op basis van prijsprikkels) en microgrids (autonome energienetten) zien we ook terug binnen het Energy Hubs kader. Prijsprikkels zijn vaak belangrijk binnen de sturing, een voorbeeld hiervan is het GoPacs platform. Een Gesloten Distributie Systeem (GDS) is m.b.t. het eigendom ervan een vorm van een autonoom energienet. De benamingen smart grids en microgrids worden voornamelijk nog in de VS gebruikt. Een VPP is in Nederland meestal een oplossing op het niveau van energiecoöperaties om hun portfolio voor gedistribueerde opwekking te managen. Dit wordt de laatste tijd steeds vaker verbonden met het idee om de opgewekte energie binnen de coöperatie zoveel mogelijk zelf te gebruiken, waarmee het concept VPP in feite over gaat in een vorm van Energy Hubs, namelijk het sturen van de energie-opwekking, opslag en flexibele vraag. Het stuurdoel is echter verschillend: zelfconsumptie versus voorkomen van netcongestie. Op veel momenten in de tijd blijken deze stuurdoelen echter niet strijdig met elkaar. De laatste jaren wordt er veel gepubliceerd over "Smart Energy Systems" en "Multi Carrier Energy Systems". Dit zijn brede, overkoepelende maar hoofdzakelijk technische concepten die samenhangen met een visie op een volledig sectorgeïntegreerd energiesysteem. In feite

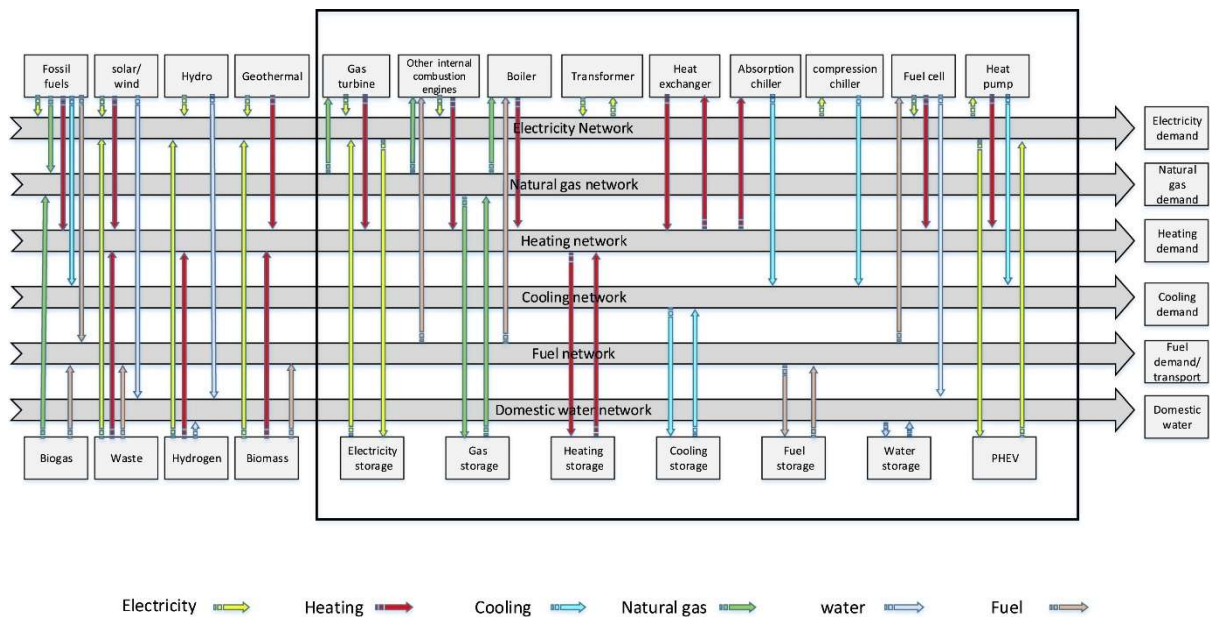
¹ Werkzaam als ass. Professor Energy System Integration aan de Universiteit Twente

² Zelfstandig consultant betrokken vanuit het project MOOI EIGEN.

zijn dit dus andere benamingen voor het technische deel van Energy Hubs. Energy Hubs omvatten daarnaast organisatorische en economische kaders en oplossingen voor de interactie met het reguliere energiesysteem en de organisatorische samenwerking met netbeheer en marktpartijen daarbinnen. Er is ook verwantschap tussen Energy Hubs en “energy communities”, met name op het organisatorische vlak. De samenwerking binnen een Energy Hub kan in de vorm van een energy community worden uitgewerkt, maar dit hoeft niet. De naam energy community is oorspronkelijk een concept voor bewoners die samen energie opwekken en dit zoveel mogelijk zelf gebruiken, lijkend op het VPP concept voor energiecoöperaties. Als laatste zijn er relevante trends op het gebied van “distributed intelligence” en “interoperabiliteit” binnen de wereld van computer platformen en communicatie protocollen [1]. Duurzame energie en oplossingen voor netcongestie vragen om toepassing van deze technische kaders.

Veel publicaties richten zich op modellering voor het ontwerp van Energy Hubs, en op de operationele sturing van complexe, geïntegreerde energiesystemen om de balans tussen vraag naar en aanbod van energie te managen, het verdienmodel te optimaliseren of de uitstoot van CO₂ te minimaliseren. Het concept “energy hub” is voor het eerst geïntroduceerd door ETH Zürich in 2007 [2] vanuit het project “a vision of future energy networks”. Nog altijd relevante inzichten vanuit die studie zijn dat Energy Hubs nodig zijn voor “bewegingen” naar...

- ... *“multi energy systems”, om synergie voordelen te bieden voor verschillende energiedragers binnen een geïntegreerd systeem. Dit is hét belangrijkste argument geworden omdat de introductie van duurzame energie binnen lokale energiesystemen én elektrificatie van b.v. de thermische energievraag leidt tot netwerkcongestie. Omdat er naast een lokale elektrische vraag, ook een toenemende lokale vraag is naar duurzame warmte en duurzame brandstoffen, kunnen Energy Hubs de synergie voordelen bieden om deze vraag zo volledig mogelijk te bedienen met lokaal opgewekte, duurzame energie.*
- ... *niet-hiërarchische structuren (b.v. distributed systems). Ook dit is nog altijd een zeer relevante beweging omdat de distributed intelligence die in de tussentijd is ontwikkeld voor de operationele sturing van Energy Hubs, wordt belemmerd door beperkende regelgeving die ervoor bedoeld is om de spelregels te handhaven binnen de bestaande, hiërarchische en top down structuur van het energiesysteem. Er zit “spanning” tussen hiërarchische operationele sturing (top down sturing met slechts enkele partijen/actoren binnen een marktordening) en distributed sturing (bottom up b.v. Peer to Peer (P2P)). Dat laatste vraagt meer om een marktordening waarin vele partijen/actoren participeren. Het is weliswaar niet zo dat Energy Hubs volledig distributed georganiseerd moeten zijn, maar de top down hiërarchie die we van oudsher kennen in het energiesysteem is moeilijk te handhaven binnen vergaand geïntegreerde en complexe Energy Hubs zoals b.v. in Figuur 1 is weergegeven.*
- ... *geïntegreerde en met elkaar verbonden energiesystemen. Deze beweging is technisch gezien logisch wanneer alle vormen van energievraag (elektriciteit, warmte, brandstof) worden voorzien vanuit slechts een beperkte hoeveelheid en ook nog voornamelijk elektrische vormen van duurzame energieopwekking (met name zon en wind) die veel ruimte vragen voor de fysieke inpassing en daardoor haast onvermijdelijk decentraal zijn opgesteld. Conversies en opslag van energie binnen decentrale energiesystemen zijn daardoor onvermijdelijk, hoewel dit zeker op gespannen voet staat met een economisch verantwoord schaalniveau, met name voor conversies naar brandstoffen via waterstof. Ook de verbinding van decentrale energiesystemen aan elkaar is noodzakelijk om te kunnen beschikken over een robuuste, bedrijfszekere energievoorziening.*



Figuur 1: conceptueel model van de energie uitwisselingen binnen Energy Hubs [3].

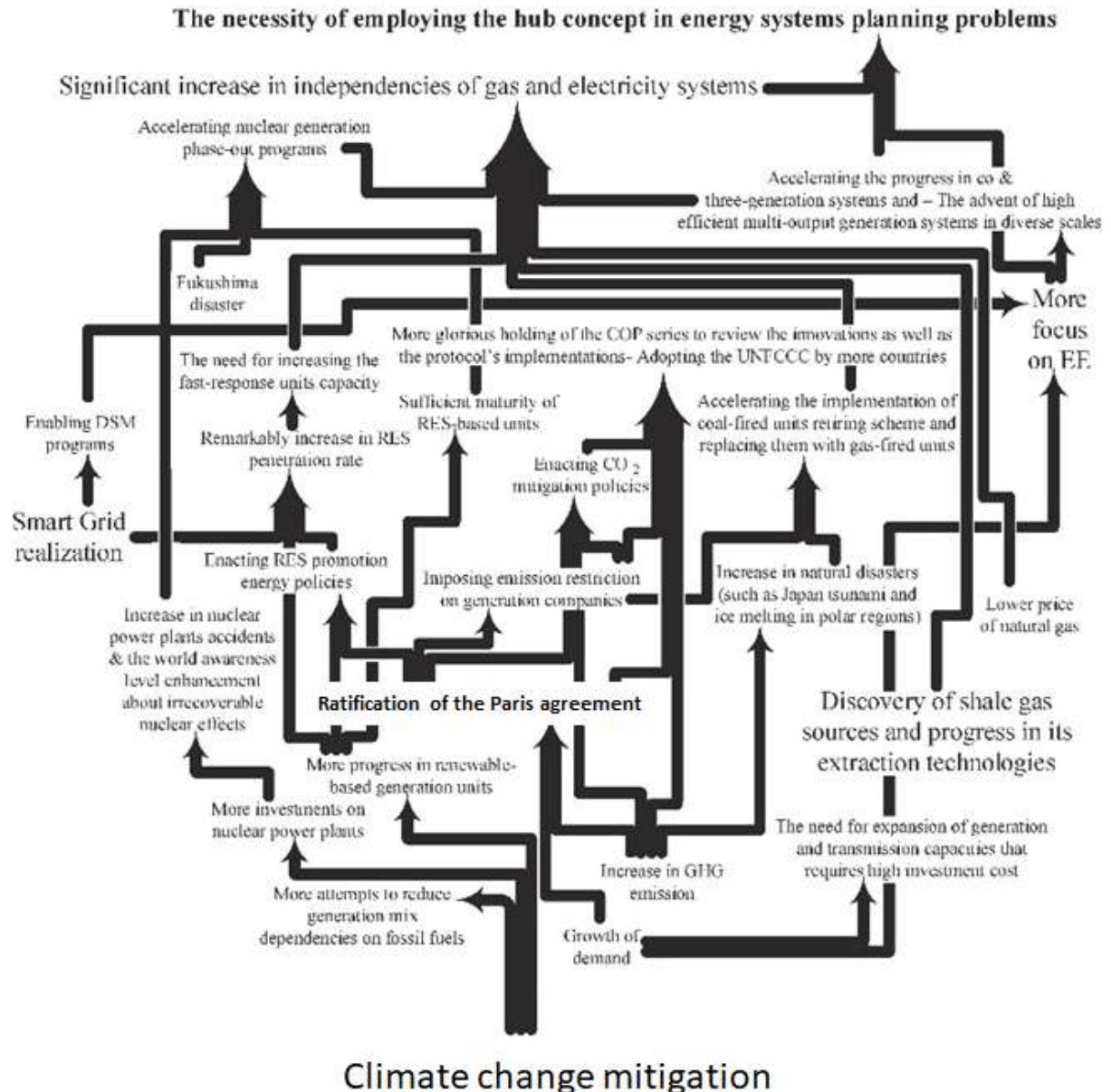
Met name op het gebied van operationele sturing van Energy Hubs is sindsdien veel gepubliceerd. In Figuur 1 is via een conceptueel model inzichtelijk gemaakt waar de sturing precies over gaat: het effectief sturen van stuurbare elementen binnen een complex, geïntegreerd energiesysteem waarin meerdere vormen van opwekking, opslag, conversie, distributie van verschillende energiedragers en gebruik van verschillende energievormen een rol spelen. De energiestromen wil men optimaliseren door de elementen te sturen (via aan/uit sturing of vermogenssturing van apparaten) binnen de randvoorwaarden van een veilig net (dus rekening houdend met wat er contractueel en fysiek maximaal getransporteerd kan worden).

Voordelen en doelen van Smart Energy Hubs

In de literatuur worden verschillende argumenten uiteen gezet waarom Energy Hubs noodzakelijk zijn. Een omvattend overzicht hiervan is gegeven in [1] en dit is samengevat in Figuur 2. Het schema toont relaties tussen belangrijke argumenten voor de sturing van energie binnen Energy Hubs. Het schema is met enkele argumenten aangepast omdat de oorspronkelijke versie dateerde uit de tijd voordat mitigatie van klimaatverandering de focus werd van de energietransitie.

De voordelen van Energy Hubs omvatten [4]:

1. **Vermindering van CO₂-uitstoot en afhankelijkheid van fossiele brandstoffen:** Energy Hubs integreren hernieuwbare bronnen met opslagsystemen, waardoor de afhankelijkheid van fossiele brandstoffen wordt geminimaliseerd. Ze gebruiken realtime gegevens om de energievraag in eerste instantie af te stemmen op het aanbod en in tweede instantie het aanbod verder af te stemmen op de beschikbare netwerkcapaciteit (aftoppen) of opslagcapaciteit. Hierdoor worden congestie, energieverstopping en de behoefte aan CO₂-intensieve energie verminderd.



Figuur 2: samenvatting van argumenten (of doelen) voor Energy Hubs [1] (bewerkt)

2. **Vermindering van infrastructuur- en onderhoudskosten:** Energy Hubs slaan overtollige energie op en balanceren de vraag met het aanbod. Dit voorkomt netwerkcongestie en vermindert de belasting van de infrastructuur, wat aanzienlijke kosten kan besparen voor versterking en uitbreiding van de infrastructuur.
3. **Bevordering van een sociaal rechtvaardige energietransitie:** Energy Hubs moedigen lokale participatie aan, waardoor bedrijven, organisaties en bewoners kunnen investeren in energieoplossingen en samenwerken binnen de exploitatie. Dit versterkt gemeenschappen door lokale waardecreatie.
4. **Verbeterde energie-efficiëntie door multi-energie-integratie:** Energy Hubs optimaliseren het gebruik van elektriciteit, warmte en gas. Ze slaan warmte op of zetten overtollige elektriciteit om in thermische energie of waterstof, waardoor energie nuttig wordt gebruikt die anders verloren zou gaan.

5. **Verbeterde flexibiliteit van lokale energiesystemen:** Energy Hubs verbeteren de veerkracht door meerdere energievormen te integreren, waardoor systemen zich kunnen aanpassen aan vraagfluctuaties en verstoringen. Ze bieden noodstroom, vraagrespons en aanvullende diensten die betrouwbaarheid toevoegen.
6. **Ondersteuning van innovatie en economische groei:** Energy Hubs creëren kansen in de productie, opslag en technologieontwikkeling van schone energie. Dit levert banen op, trekt groene investeringen aan en stimuleert innovatie.
7. **Faciliteren van de overgang naar een gedecentraliseerd energiesysteem:** Energy Hubs zijn zelf vormen van gedecentraliseerde energiesystemen, waardoor lokale energieproductie, -gebruik en -opslag mogelijk wordt. Dit vermindert de afhankelijkheid van centrale netten en maakt lokale energiehandel mogelijk, wat autonome energiesystemen bevordert.

Complexiteit en knelpunten van Smart Energy Hubs

Bovenstaande voordelen van Energy Hubs blijken in de praktijk niet eenvoudig om te bereiken. Veel zaken zullen anders opgezet en aangepakt moeten worden t.o.v. de huidige praktijk, onder andere:

- De planning van een energy hub vraagt om betrokkenheid van lokale partners: een gemeenschap, bedrijven of een bedrijventerrein. Deze lokale belanghebbenden (actoren) moeten actief deelnemen en gemeenschappelijke doelen vaststellen, eigenaarschap waarborgen en prioriteiten stellen m.b.t. uitbreiding en verbetering.
- Voor de planning van een energy hub is inzicht nodig in het verloop van de energievraag en -aanbod in de (nabije) toekomst. Het ontwikkelen van een visie op de lokale energievoorziening is daarom belangrijk in een vroeg stadium. Exacte voorspellingen zijn daarbij niet nodig, maar de uitwerking van scenario's kan wel helpen.
- Voor de planning van een energy hub is een diepere perceptie nodig van technisch-economische interacties tussen deelnemers binnen de energy hub. Het blijkt in de praktijk een intensief proces om tot evenwichtige verdienmodellen te komen voor de betrokkenen. Er moet ook nog ervaring opgebouwd worden met de energievoorziening binnen de Energy Hub door partijen die wel of niet onafhankelijk zijn en die wel of geen winstoogmerk hebben en waarin lokale partijen (afnemers en opwekkers) participeren.
- Voor de exploitatie van een energy hub spelen asset management en energie efficiency een belangrijke rol om tot operationele optimalisatie en economisch rendabele planning van uitbreidingen (opschaling) te komen. Ook de technische integratie met bestaande netten, beheer van opslagsystemen en verwerking van realtime gegevens is een complexe uitdaging.
- Er is nog relatief weinig ervaring met het proces van planning van Energy Hubs, de samenwerking en de coördinatie die nodig is voor de exploitatie van een energy hub.
- De ontwikkeling, exploitatie en uitbreiding van Energy Hubs heeft behoefte aan een juridisch stelsel van regels dat is toegesneden op de planning, marktordening, samenwerking en coördinatie binnen de energy hub. Dit juridische stelsel is op dit moment nog onvoldoende toegesneden en verandert langzaam.

Visies op de definitie van Smart Energy hubs

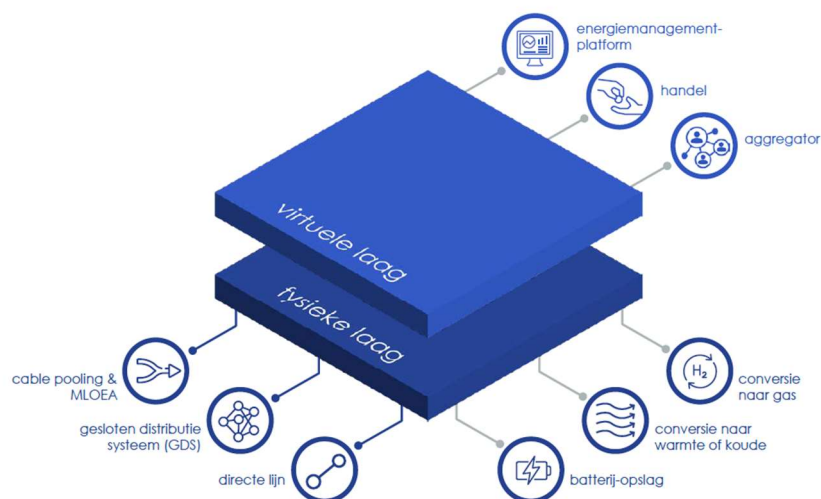
Met bovenstaande inzichten vanuit de wetenschappelijke literatuur, trachten we tot een algemeen bruikbare definitie van Energy Hubs te komen. Nu is met name in Nederland de term Energy Hubs de afgelopen jaren wat verder in verschillende richtingen uitgewerkt binnen verschillende contexten en vanuit verschillende organisaties, waardoor er verschillende visies op definities en kenmerken zijn ontstaan. Een overzicht hiervan is gegeven in het document [5] en dit omvat definities vanuit

Common Futures, Topsector energie, Firan, MOOI EIGEN en Royal Haskoning. Daarnaast is in een rapport van Rebel over slimme energiesystemen [6] een definitie opgenomen.

Technisch is een Energy Hub een vorm van een “slim energiesysteem”. In [6] wordt een definitie hiervan gegeven, welke overeen komt met de oorspronkelijk door ETH gegeven definitie van Energy Hubs als Multi Energy System:

“Slimme energiesystemen zijn energieoplossingen die - veelal gebruikmakend van IT - het mogelijk maken om de vraag naar en/of het aanbod van energie te sturen, energie op te slaan of deze te converteren naar andere energievormen. Vaak gaat het bij slimme energiesystemen om fysieke toevoegingen aan het energiesysteem gecombineerd met een virtuele laag die hier op wordt ‘gelegd’. Bij de fysieke toevoegingen kan gedacht worden aan batterijen, slimme laadpleinen of zelfs waterstoffabrieken. Allemaal componenten die meer flexibiliteit bieden in de vraag of het aanbod van energie. De toevoeging van de virtuele laag zorgt ervoor dat er ook daadwerkelijk slim wordt uitgewisseld en het energiesysteem efficiënter wordt gebruikt. Energiemanagementplatforms en bijvoorbeeld de handel in flexibiliteit zorgen daarmee voor de sturing van de energie en bieden prikkels om dit efficiënter te doen.”

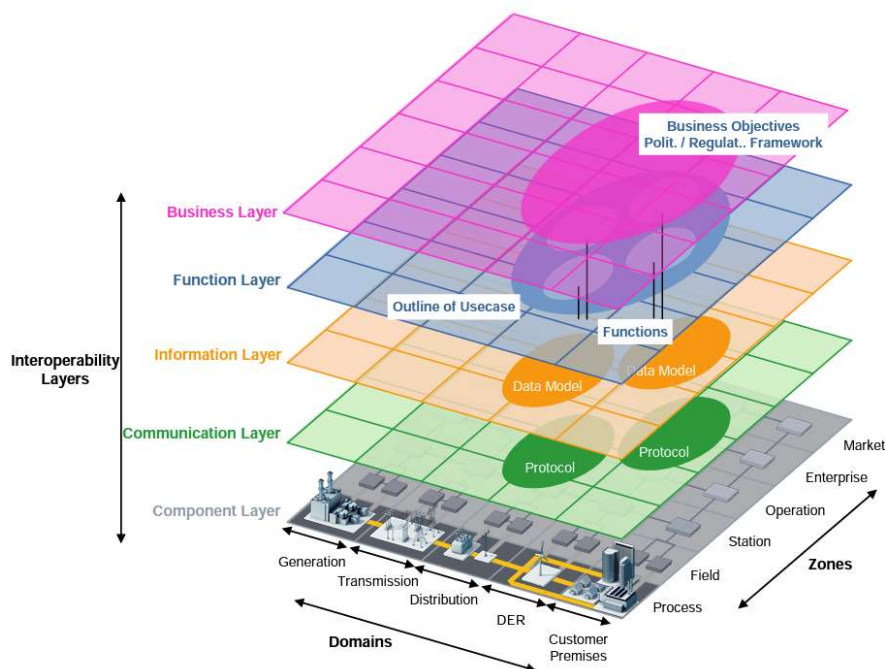
In onderstaande figuur zijn belangrijke elementen (of oplossingen) binnen de fysieke en virtuele laag opgenomen. Deze oplossingen komen ook naar voren in de oorspronkelijke beschrijving van ETH en Figuur 1.



Figuur 3: fysieke en virtuele elementen van slimme energiesystemen [6]

Een slim energiesysteem benadrukt meer het technische kader, de verbinding (via de virtuele laag) met een groter geheel om een netprobleem te voorkomen of op te lossen. Dit is ook een onderdeel van Energy Hubs, maar daarnaast wordt ook de samenwerking tussen partijen benadrukt. Om die reden zien we Energy Hubs als een (omvangrijke) deelverzameling binnen het grotere geheel van “slimme energiesystemen”.

De laatste input vanuit de literatuur die hier nuttig is om in de definitie van Energy Hubs te betrekken is het Europese normenkader voor smart grids, zoals b.v. uitgewerkt door Cenelec [7]. In Figuur 4 is het architectuur model hieruit overgenomen en dit lijkt op Figuur 3 (fysieke en virtuele laag). In Figuur 4 is de virtuele laag meer in detail uitgewerkt in 4 aparte lagen voor de communicatie (protocollen), informatie (data modellen), functies (toepassingsafhankelijk) en business (met name doelen op economisch, politiek of bestuurlijk vlak).



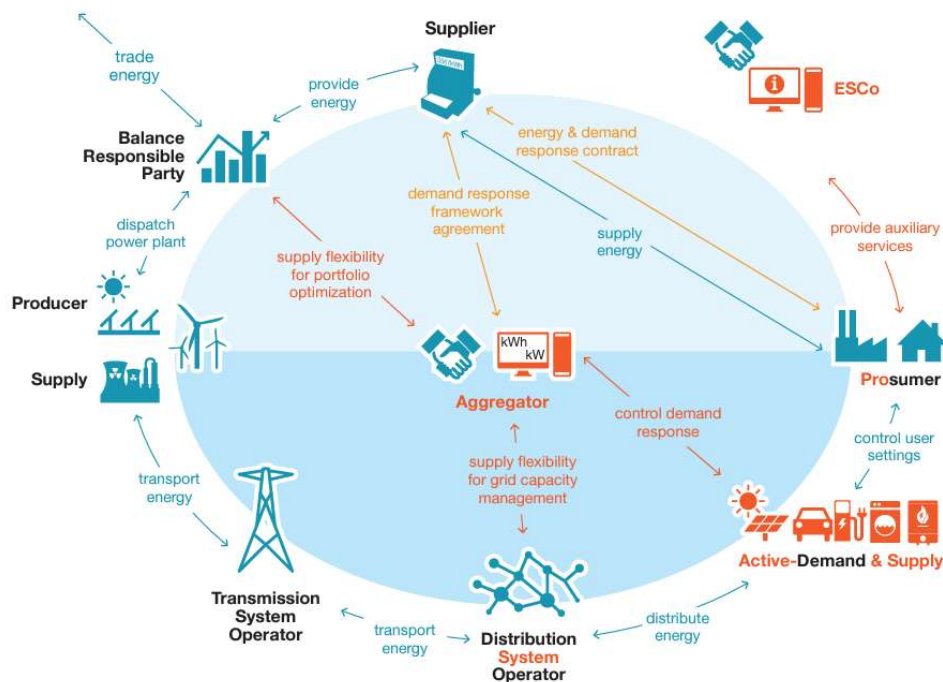
Figuur 4: Smart Grid Architecture Model (SGAM) [7].

Cenelec heeft via het SGAM model en in de bijbehorende norm een voor de Europese landen omvattende omschrijving gegeven van deze lagen, met name hoe de lagen qua organisatie, techniek en protocollair ingericht kunnen worden en hoe dit geheel geharmoniseerd of gestandaardiseerd kan worden binnen de Europese context van de praktijk binnen elektrische energienetwerken. Een aanvullende publicatie [8] beschrijft de gangbare concepten van flexibiliteitsmanagement, met name de marktimplementatie aspecten, technische architectuur en standaardisering.

Op basis hiervan en het rolmodel van ENTSO-E [9] voor de elektriciteitsmarkt, hebben in Nederland enkele netwerkbedrijven, samen met bedrijven als ABB, IBM en DNV-GL het Universal Smart Energy Framework (USEF) ontwikkeld. In [10] wordt dit raamwerk nader omschreven m.b.t. de lagen “connectivity”, “market based control” en “service control” en omvat daarmee zowel de IT-technische als de marktgerichte lagen en daarbinnen de rollen en afspraken. In onderstaande Figuur 5 is het interactiemodel van USEF weergegeven, met daarin de belangrijkste rollen en functionele relaties.

Uit de normstellende kaders van Cenelec, ENTSO-E en USEF voor Smart Grids wordt duidelijk hoe ver de definities, het raamwerk, de protocollen en rollen zijn uitgewerkt voor het elektrisch energiesysteem. Dit is echter nog slechts een deel van wat we onder Energy Hubs in de meest uitgebreide vorm kunnen verstaan, want deze omvatten daarnaast ook nog (a) mogelijke conversies naar warmte en gas, (b) de infrastructuur daarvoor, (c) zo mogelijk ook verschillende vormen van energiebuffering en (d) slimme sturing van warmte- en gasverbruik. Voor het elektriciteitssysteem geldt bovendien andere wet- en regelgeving dan voor warmte- en gasdistributiesystemen. Voor het elektriciteitssysteem wordt in de nieuwe energiewet de landelijke wet- en regelgeving aangepast om harmonisatie met de Cenelec, ENTSO-E en USEF protocollen en dus de vrije markttoegang voor spelers tot decentrale, slimme energienetwerken mogelijk te maken. De wet is tevens van toepassing voor het gassysteem (inclusief hernieuwbare gassen zoals waterstof). Voor warmte zal de

Wet Collectieve Warmte, die in 2025 in werking treedt, meer zeggenschap over warmtenetten geven aan publieke organisaties.



Figuur 5: USEF markt interactiemodel [10].

Synthese: wat “is” een Smart Energy Hub?

Het literatuuronderzoek heeft veel inzichten opgeleverd, enerzijds uit wetenschappelijke bronnen, anderzijds uit relevante normen en publicaties van gezaghebbende organisaties. Om tot een bruikbare definitie van Energy Hubs te komen moet onderscheid gemaakt worden in doelen, kenmerken, functielagen en uitvoeringsvormen. Onderstaand wordt op basis van de opgedane inzichten, geconvergeerd tot een eenduidige definitie.

Doelen van Smart Energy Hubs

In het algemeen dragen Energy Hubs bij aan het realiseren van de klimaatdoelstellingen en via een marktkoppeling dragen zij tevens bij aan ontlasting van het bovenliggende elektriciteitsnet. Binnen de Energy Hubs moeten knelpunten m.b.t. de energiebalans binnen de energienetwerken (netcongestie) van de hub (in elk geval elektriciteit, maar zo mogelijk ook warmte en gas) voorkomen worden. Dit zorgt ervoor dat geoptimaliseerd kan worden op de investeringen (en maatschappelijke kosten) van de infrastructuur van de decentrale energienetwerken en het onderstation als koppeling met het bovenliggende elektriciteitsnet. Deze economische baten (of vermeden kosten) dienen ten goede te komen aan de betrokken actoren. Als laatste zijn er sociale doelen zoals het faciliteren van een open toegang voor (lokale) partijen om deel te nemen in het verdienmodel en zorgen voor een eerlijke verdeling van de kosten en baten rondom de energievoorziening.

Kenmerken van Smart Energy Hubs

Om deze doelen te bereiken is er in eerste instantie een organisatievorm nodig, waarin lokale stakeholders samenwerken om energie gerelateerde diensten (operationele regie op de sturing van energie- en financiële stromen) te leveren aan bedrijven op een bedrijventerrein en eventuele

belanghebbenden in de periferie van het bedrijventerrein en daarbij leveringszekerheid en zo laag mogelijke kosten voor energie te realiseren. Daarnaast is er een (virtueel) lokaal energiesysteem nodig, waarin lokaal (duurzaam) opgewekte elektriciteit, warmte, koude en biogassen zoveel mogelijk ook lokaal worden benut, via een slim ICT systeem afgestemd op de vraag. Discrepancies tussen vraag en aanbod worden opgevangen via opslag- en conversiesystemen en via uitwisselingen met gereguleerde netten binnen de randvoorwaarden van kwaliteit van levering en beschikbaarheid van infrastructuur [11].

Func tielagen van Energy Hubs

Energy Hubs zijn een onderdeel van slimme energiesystemen welke bestaan uit een fysieke laag en een virtuele laag. De fysieke laag bestaat uit “assets” binnen het energiesysteem en hiervoor zijn vele technische mogelijkheden beschreven binnen het domein “Multi energy systems”. De virtuele laag bestaat uit:

- communicatielaag (protocollen),
- informatielaag (data modellen maar daarnaast ook afspraken tussen partijen en wet- en regelgevend kader, omgezet in een transactiesysteem),
- functionele laag (toepassingsafhankelijk, specifieke functies zoals b.v. sturing van elektrolyse voor opwekking van waterstof of het slim laden van voertuigen)
- business laag (met name bovenstaande doelen op economisch, politiek of bestuurlijk vlak, maar daarnaast ook de rolverdeling, het marktmodel en verdienmodel).

Voor deze func tielagen zijn b.v. voor het elektrisch energiesysteem normen van Cenelec en USEF ontwikkeld. Daarnaast zijn in projecten zoals MOOI EIGEN diverse protocollen, aanpakken, technische en niet-technische tools ontwikkeld voor de ontwikkeling, realisatie en exploitatie van Energy Hubs.

Uitvoeringsvormen en aanvullende kenmerken van Smart Energy Hubs

Er is niet één soort Energy Hub. Afhankelijk van de situatie kunnen zij zeer verschillend van aard en omvang zijn. Belangrijke aspecten die de uitvoeringsvorm bepalen:

- **Schaalbaarheid:** op het schaalniveau van slechts enkele actoren kunnen Energy Hub oplossingen toegepast worden voor: energie opwekken, tijdelijk opslaan en via een slim regelsysteem met elkaar delen, afspraken over maximum capaciteit van de netconnectie, etc. Er is niet echt een ondergrens maar als 2 of 3 bedrijven willen gaan samenwerken om vooruit te kunnen met b.v. duurzame opwek of elektrificatie, dan gaat het in de combinatie van die bedrijven al snel om een vermogen van ca. 1 MW. In theorie kunnen Energy Hubs zeer omvangrijk zijn. Een stedelijk gebied bevat meerdere onderstations waarop midden- en laagspanningsnetten voor woonwijken en bedrijventerreinen zijn aangesloten. Een grote Energy Hub omvat een geheel midden- en laagspanningsnet van b.v. een bedrijventerrein met een groot deel van de bedrijven als actoren. Meerdere naast elkaar gelegen Energy Hubs in een stedelijk gebied kunnen ook met elkaar zijn verbonden, maar daar zijn nog geen voorbeelden van.
- **Energiemodaliteiten:** dit omvat minimaal (altijd) elektrische energie en in meest uitgebreide vorm een omvattend Multi energy systeem bestaande uit elektriciteit, warmte en duurzaam gas/brandstof die worden opgewekt en verhandeld binnen de Energy Hub.
- **Toepassingskader:** het kan gaan om bedrijven, bedrijventerreinen, agrarische bedrijven, woonwijken of om combinaties van deze toepassingskaders. In een rapport van Haskoning

[12] worden 4 belangrijke “archetypen” of families Energy Hubs ontwikkeld (gebouwde omgeving, mobiliteit, bedrijventerrein, cluster 6) en op de belangrijkste bouwstenen (energiesysteem, organisatie-governance, juridisch en contractuele afspraken) toegelicht.

- **Complexiteit:** dit kan variëren van relatief eenvoudig (b.v. een “directe lijn” als fysieke verbinding en contractvorm tussen twee bedrijven), of een samenwerkingsvorm tussen meerdere bedrijven binnen een capaciteitsbeperkend contract, tot een Multi energy systeem met veel actoren. De complexiteit wordt in belangrijke mate bepaald door de verbinding met de (landelijke) energiemarkt(en) als prijsvormend kader in relatie tot bovenliggende netcongestie, de benodigde optimalisatie van de sturing binnen de Energy Hub (op kosten, baten, duurzaamheid) en de regie die nodig is op het maken van afspraken en voor de operationele exploitatie.
- **Organisatie:** de organisatorische rolverdeling binnen Energy Hubs is o.a. ontwikkeld binnen Cenelec en USEF normen voor smart grids voor het elektrische energiesysteem. Ook zijn bepalingen uit de nieuwe energiewet en de wet collectieve warmte bepalend voor de rolverdeling en participatie binnen Energy Hubs, alsmede voor de mogelijkheden en contractering m.b.t. het onderling verhandelen van energie binnen de Energy Hub. In eenvoudige Energy Hubs kunnen afspraken tussen de partijen voldoende zijn, binnen grotere Energy Hubs is een specifieke organisatie of “exploitatiemaatschappij” nodig die de belangen van partijen in evenwicht houdt en zorgt voor de operationele sturing en asset management. Het project MOOI EIGEN heeft enkele standaard contractvormen opgeleverd voor een aantal oplossingsrichtingen binnen Energy hubs.
- **Economisch verdienmodel:** het verdienmodel omvat vaak meerdere aspecten. Een belangrijk aspect is het acteren (inkoop/verkoop van energie) op de (inter)nationale stroommarkt. Dit wordt mogelijk gemaakt door het bieden van flexibiliteit (via opslag, conversie en opwek/vraagsturing) binnen de Energy Hub waardoor stuurmogelijkheden ontstaan voor de import en export van energie door de aggregator die namens de Energy Hub deelnemers de regie hierover voert. Een ander aspect is het beperken van de infrastructuur en zodanig sturen van de energiestromen dat beperkende capaciteitsgrenzen worden aangehouden. Naast deze directe aspecten kan er ook sprake zijn van indirecte effecten in de vorm van waarde-creatie voor de langere termijn, b.v. het mogelijk maken van aanvullende duurzame energieopwekking of toekomstige elektrificatie die zonder de Energy Hub voor ieder van de actoren afzonderlijk op capaciteitsproblemen zou stuiten.
- **Juridisch kader:** dit omvat de nieuwe energiewet als kader om actieve deelname van huishoudens en bedrijven mogelijk te maken binnen de Energy Hub. Daarnaast, de wet collectieve warmte die eigenaarschap regelt van b.v. publieke partijen voor warmtenetten. Voor elektriciteit geven de netcodes handvatten voor het voorkomen van netcongestie. Er zijn specifieke juridisch/organisatorische oplossingen ontwikkeld onder de noemer van Energy Hubs zoals cable pooling, opwekking aftoppen, Gesloten Distributie Systeem (GDS), non-firm Aansluit- en TransportOvereenkomst (ATO), congestiemanagement producten zoals CapaciteitsBeperkend Contract (CBC) en “bieding redispatch”. Het juridisch kader omvat altijd een governance structuur waarin de rollen van partijen binnen de Energy Hub (publiek en/of privaat), de benodigde afspraken en verantwoordelijkheden in contracten zijn geregeld tussen partijen om b.v. de deelname, de eigendomsverhoudingen, de leveringsafspraken voor energie en verdeling van de exploitatiekosten en -baten te regelen.

Samengevat tot één definitie

Een Smart Energy Hub is een samenwerking tussen actoren (bedrijven, energiecoöperatie, bewoners, kantooreigenaren, parkmanagement voor een bedrijventerrein, etc.) om de verduurzaming van de energieopwekking en energieconsumptie in een specifiek gebied (tot het niveau van een HS/MS onderstation) mogelijk te maken. De samenwerking omvat een organisatievorm voor de ontwikkeling en exploitatie van de Smart Energy Hub. Daarnaast afspraken over het verdienmodel en afspraken met de netbeheerder over de contractuele voorwaarden. Een essentieel technisch onderdeel is een slim energie managementsysteem met bijbehorende digitale infrastructuur voor het decentrale energiesysteem dat het bovenliggende energiesysteem ontlast en/of versterkt door binnen het gebied zoveel mogelijk vraag en aanbod van verschillende energiedragers te balanceren en dat hiervoor lokale productie, consumptie, opslag en conversie van energie aanstuurt.

Literatuur

- [1] H. Sadeghi, M. Rashidinejad, M. Moeini-Aghaie, and A. Abdollahi, "The energy hub: An extensive survey on the state-of-the-art," *Applied Thermal Engineering*, vol. 161, p. 114071, 2019, doi: <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2019.114071>.
- [2] M. Geidl, G. Koeppel, P. Favre-Perrod, B. Klockl, G. Andersson, and K. Frohlich, "Energy hubs for the future," *IEEE power and energy magazine*, vol. 5, no. 1, pp. 24–30, 2006.
- [3] M. Mohammadi, Y. Noorollahi, B. Mohammadi-ivatloo, and H. Yousefi, "Energy hub: From a model to a concept – A review," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 80, pp. 1512–1527, 2017, doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.07.030>.
- [4] R. P. van Leeuwen and Hajimolana, Y., "Smart Energy Hub Conference - Book of Abstracts," Enschede, The Netherlands: Saxion University of Applied Sciences, 2024.
- [5] M. van Bracht and T. van de Poll, "Definitie Energy Hubs." 2023.
- [6] R. de Bruin, E. Kleiwegt, and H. de Boer, "Handreiking slimme energiesystemen." Rebel, Topsector Energie, Feb. 2023. Accessed: May 15, 2023. [Online]. Available: <https://topsectorenergie.nl/sites/default/files/uploads/Urban%20energy/publicaties/Handreiking%20Slimme%20Energiesystemen%20-%20MidRes.pdf>
- [7] "CEN-CENELEC-ETSI Smart Grid Coordination Group - Smart Grid Reference Architecture." Cenelec-ETSI, 2012. Accessed: May 16, 2023. [Online]. Available: https://syc-se.iec.ch/wp-content/uploads/2019/10/Reference_Architecture_final.pdf
- [8] Cenelec-ETSI, "SG-CG/M490/L_Flexibility Management - Overview of the main concepts of flexibility management - version 3.0." Cenelec-ETSI. Accessed: May 16, 2023. [Online]. Available: https://www.cencenelec.eu/media/CEN-CENELEC/AreasOfWork/CEN-CENELEC_Topics/Smart%20Grids%20and%20Meters/Smart%20Grids/5_sgcg_methodology_flexibilitymanagement.pdf
- [9] ENTSO-E, "The harmonised electricity market role model." ENTSO-E, 2022. Accessed: May 16, 2023. [Online]. Available: https://eepublicdownloads.entsoe.eu/clean-documents/EDI/Library/HRM/Harmonised_Role_Model_2022-01.pdf
- [10] A. Backers, F. Blik, and H. de Heer, "An introduction to the Universal Smart Energy Framework." USEF, 2014. Accessed: May 16, 2023. [Online]. Available: <https://www.usef.energy/app/uploads/2016/12/An-introduction-to-the-Universal-Smart-Energy-Framework-2.pdf>
- [11] "Blauwdruk voor het realiseren van Energy Hubs op bedrijventerreinen, gericht op het inpassen van grootschalige hernieuwbare energie." MOOI SIGOHE EIGEN, Sep. 07, 2023. [Online]. Available: <https://www.eigen-energyhubs.nl/de-blauwdruk/>
- [12] R. de Graaf and et al, "De families van Energy Hubs in Nederland." Royal Haskoning, Jul. 08, 2024.